



## KOCAELİ İLİ KÖRFEZ İLÇESİ'NDE NOKTASAL KAYNAKLARDAN MEYDANA GELEN CO VE NO<sub>x</sub> DAĞILIMLARININ FARKLI DAĞILIM MODELLERİYLE İNCELENMESİ

K.Onur DEMİRARSLAN<sup>1</sup>, Şenay Çetin DOĞRUPARMAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin, onurdemirarslan@artvin.edu.tr

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, senayc@kocaeli.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde noktasal kaynaklı (sanayi) CO (karbon monoksit) ve NO<sub>x</sub> (azot oksit) emisyonlarının dağılımları incelenmiştir. Körfez İlçesi'nin hava kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi, oldukça önemlidir. Çünkü bölge sahip olduğu sanayisi, kentleşme yoğunluğu, liman ve iskeleleri, demiryolu ve karayolu ile Kocaeli İli'nin hava kirliliğinin yoğun olduğu ilçelerinden birisidir. Bu nedenle çalışmada, hava kirleticisi dağılımlarını matematiksel olarak modelleyen üç farklı dağılım modeli kullanılarak, ilçenin hava kalitesi bakımından mevcut durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı hava kalitesi modellerinin kullanılması, bu alanda kullanılan programların birbirlerine göre artı ve eksilerinin değerlendirilmesini sağlaması bakımından önemlidir. Çalışma kapsamında kullanılan modelleme programlarından ilki; USEPA tarafından geliştirilen ve tavsiye edilen "AERMOD VIEW 6.5.0" sürümüdür. Bu program doğrusal kararlı hal duman modellemesidir ve algoritmaları atmosferik türbülans hareketlerine dayanmaktadır. Çalışmada kullanılan diğer program; yine EPA tarafından geliştirilen ve tavsiye edilen AERMOD View 6.5.0 sürümündeki "ISCST-3 Modeli"dir. Model, yüksek noktasal kaynaklar için kararlı hal Gauss duman akımı eşitliği kullanmaktadır. Kullanılan üçüncü program "CALPUFF VIEW 5.8 sürümü"dür. Model, "Atmosferik Çalışma Grubu" tarafından geliştirilen kararlı olmayan durumlarda zaman ve bölgeye göre değişen meteorolojik koşullar içerisinde kirleticilerin taşınımalarını, kimyasal dönüşümlerini ve giderimlerini tahmin etmekte kullanılan Gaussian Puff modellemesidir.

Yapılan çalışma sonucunda; çalışma alanında bulunan 20 adet fabrika bacasından yayılan CO emisyonu ile yine İlçe'de bulunan 15 adet fabrika bacasından yayılan NO<sub>x</sub> emisyonu modelleme programlarına girilerek, günlük ve yıllık dağılım haritaları elde edilmiştir. Günlük en yüksek konsantrasyon miktarları AERMOD, ISCST-3, CALPUFF sıralamasıyla; CO için 171,34 µg/m<sup>3</sup>, 335,24 µg/m<sup>3</sup>, 140,88 µg/m<sup>3</sup>, yıllık en yüksek konsantrasyon miktarları ise sırasıyla 49,59 µg/m<sup>3</sup>, 70,02 µg/m<sup>3</sup>, 17,21 µg/m<sup>3</sup> olarak tahmin edilmiştir. Buna karşılık günlük en yüksek NO<sub>x</sub> konsantrasyon miktarları sırasıyla 187,70 µg/m<sup>3</sup>, 372,05 µg/m<sup>3</sup>, 62,33 µg/m<sup>3</sup>, yıllık en yüksek konsantrasyon miktarları ise sırasıyla 7,84 µg/m<sup>3</sup>, 26,29 µg/m<sup>3</sup>, 3,89 µg/m<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde programların birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiş ve nedenleri literatür araştırması ile desteklenerek yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava kalitesi modelleme sistemi, AERMOD, ISCST-3, CALPUFF, Körfez İlçesi



## **EVALUATION OF CO AND NO<sub>x</sub> DISTRIBUTIONS OCCURRING POINT SOURCES IN KORFEZ DISTRICT OF KOCAELI PROVINCE WITH VARIED DISPERSION MODELS**

### **ABSTRACT**

*In this study, dispersions of CO (carbon monoxide) and NO<sub>x</sub> (nitrogen oxide) emissions of point source (industry) in Kocaeli Körfez district have been evaluated. Determination and observation of air quality of Korfez district is very important. Because Korfez district is one of the province of Kocaeli where there is intensive air pollution caused by the industry, urban density, ports and docks, rail and road districts. Therefore in this study, three different models that mathematically modeling the dispersion of air pollutants has been used and the current situation of with regard to air quality determination has been studied. The use of different models of air quality, the programs used in this area is important in terms of providing the evaluation of the advantages and disadvantages to each other. The first modeling program is AERMOD VIEW 6.5.0 version that has been used in scope of work, developed and recommended by USEPA. This program is a linear steady-state plume model and algorithms are based on the movement of atmospheric turbulence. The other program has been used in this study that also developed and recommended by USEPA, ISCST-3 modeling in AERMOD VIEW 6.5.0 version. The model for the steady-state high-point sources using Gaussian plume flow equation. The third program is CALPUFF VIEW 5.8 version. Model, has been developed by "Atmospheric Model Working Group". It's depending on the meteorological conditions are not stable in the time and place where the pollutants transport and the chemical transformation and used to estimate the Gaussian puff modeling of removals.*

*As a result of the study, CO emission emitted from chimnes of 20 factories and NO<sub>x</sub> emission emitted from the chimneys of 15 factories have been entered to the modeling programs and daily and annual distribution maps have been obtained. The amount of the highest concentrations of day with AERMOD, ISCST-3, CALPUFF ranking; for CO was estimated as 171.34 µg/m<sup>3</sup>, 335.24 µg/m<sup>3</sup>, 140.88 µg/m<sup>3</sup>, the highest concentration of annual quantities was respectively estimated as 49.59 µg/m<sup>3</sup>, 70.02 µg/m<sup>3</sup>, 17.21 µg/m<sup>3</sup>. However, the amount per day, respectively, the highest concentration of NO<sub>x</sub> was estimated as 187.70 µg/m<sup>3</sup>, 372.05 µg/m<sup>3</sup>, 62.33 µg/m<sup>3</sup>, the highest concentration of annual quantities was respectively estimated as 7.84 µg/m<sup>3</sup>, 26.29 µg/m<sup>3</sup>, 3.89 µg/m<sup>3</sup>. Examining the results it is observed that the programmes gives different results from each other programs and the reasons are supported by literature and interpreted.*

**Keywords:** Air quality modeling system, AERMOD, ISCST-3, CALPUFF, Körfez District

### **1. GİRİŞ**

İnsan faaliyetleri nedeniyle oluşan hava kirleticileri, noktasal, alansal, çizgisel ve hacimsel gibi çok çeşitli kaynaklardan atmosfere yayılmaktadır. Bu çalışmaya konu olan noktasal kaynaklar; kirleticilerin tek bir yerden atmosfere yayıldığı kaynak çeşidi olarak tanımlanabilir. Yer seviyesinde veya yer seviyesinden yüksekte olabilmektedir. Endüstriyel ve endüstriyel olmayan kaynaklar olup hava kirleticilerinin yayılımında önemli yere sahiptirler ve çok çeşitli kirleticiler yaymaktadırlar ([www.tceq.state.tx.us](http://www.tceq.state.tx.us), [www.ess.co.at](http://www.ess.co.at)). Yayılan bu kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbirlerinden çok farklı olmasının yanı sıra, insana ve çevreye olan olumsuz etkileri de değişiklik göstermektedir.



Çalışma kapsamında değerlendirilen kirleticilerden biri olan CO; ölümlere sebebiyet vermesinden dolayı diğer hava kirleticileri arasında özellikleri en iyi bilinen hava kirleticisidir. Toksik ve öldürücü etkiye sahip olan CO gazı, 500 ppm ve üzeri maruziyetlerde birkaç saat içerisinde akut etkilerini göstermeye başlamaktadır. Oksijene göre hemoglobine olan ilgisi 200-250 kez fazla olan CO, alveollere hızla bağlanmaktadır. İnsan organizmasında hemoglobine kolay reaksiyona girerek karboksihemoglobin (COHb) formunu alır. Kanda CO ile etkileşimin biyolojik belirleyicisi olan bu form, kanın oksijen kapasitesini azaltır (Acımuş, 2011). Çalışma kapsamında değerlendirilen kirleticilerden bir diğeri olan NO<sub>x</sub>; 6 farklı gazın karışımıdır. Bunlara ilave olarak NO<sub>x</sub>'in diğer reaktif azot bileşikleri (NO<sub>y</sub>) de bulunmaktadır. Ancak bunlardan ikisi hava kirleticisi olarak önemlidir. Bunlar kentsel ve endüstriyel bölgelerde yüksek konsantrasyonlarda bulunabilen NO ve NO<sub>2</sub> olup, birlikte NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>=NO<sub>x</sub>) adı altında anılır. NO<sub>x</sub>'ler yer seviyesinde duman oluşumunda anahtar rol oynar. Nitrat partikülleri ve asit aerosollerini oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Asit yağmuru oluşumuna katkıda bulunurlar. Günümüzde bilimsel kanıtlar göstermektedir ki, NO<sub>2</sub> gazına maruziyet durumunda 30 dakika ile 24 saat içerisinde astım rahatsızlığı bulunan hastalarla beraber sağlıklı kişilerde solunum rahatsızlıkları görülmekte ve nefes darlığı belirtileri meydana gelmektedir (EPA, 2011). NO<sub>2</sub>'in bahsedilen bu direkt etkisi dışında, fotokimyasal reaksiyona girmesi ve yanmış hidrokarbonlarla birlikte zincirleme reaksiyona girmesi sonucu fotokimyasal sis ve bununla birlikte fotokimyasal oksidantlar (ozon ve PAH) oluşturma etkisi de mevcuttur (Demirarslan, 2012).

Noktasal kaynaklardan atmosfere verilen bu kirletici emisyonları ile hava konsantrasyonları arasındaki ilişki, modelleme yöntemiyle yapılabilmektedir. Günümüzde bilgisayarlar yardımıyla hem hesaplamalar kısmının yapılabildiği hem de görselleştirme ile desteklenebilen bir çok matematiksel model mevcuttur.

Bu çalışma kapsamında da, kirletici dağılımlarını matematiksel olarak modelleyen üç farklı dağılım modeli (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model -AERMOD, Industrial Source Complex Short Term-ISCST-3 ve California Puff Model-CALPUFF VIEW) kullanılmıştır. Bölge olarak, sanayileşmeye bağlı hava kirliliğinin yoğun olarak yaşandığı Kocaeli İli Körfez İlçesi seçilmiştir. Çünkü bölge sahip olduğu sanayisi ile, buna bağlı olarak kentleşmenin yoğunluğu, liman ve iskeleleri, demiryolu ve karayolu ile Kocaeli İli'nin hava kirliliğinin yoğun olduğu ilçelerinden birisidir.

## 2. YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde sanayi tesislerinden (noktasal kaynaklar) yayılan CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları AERMOD, ISCST-3 ve CALPUFF dağılım modelleri ile modellenerek dağılım haritaları elde edilmiştir. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Google Earth, 2013)

## 2.1. Kullanılan Modelleme Programları

Bölgenin modellemesinde kullanılan AERMOD modeli doğrusal kararlı hal duman modellemesidir. ISCST-3'ün yeni nesil geliştirilmiş sürümü olan AERMOD modelleme programı, farklı olarak gezegensel sınır katmanı teorisi algoritması (atmosferik sınır katmanı teorisi) ve geliştirilmiş arazi yapısı algoritmalarını içermektedir (Orloff ve diğerleri, 2006). AERMOD modelleme sistemi, arazi bilgisi için AERMAP ve meteorolojik veriler için AERMET olmak üzere iki işlemciden oluşmaktadır.

Çalışma alanının modellemesinde kullanılan, diğer modelleme programı EPA tarafından geliştirilen ve tavsiye edilen “AERMOD VIEW 6.5.0” sürümündeki ISCST-3 modelidir. Model, yüksek noktasal kaynaklar için kararlı hal Gauss duman akımı eşitliği kullanmaktadır (www.weblakes.com, 2010). Kararlı hal kavramı, modelleme yapılan alanın bütününde, aynı saatlerde, eşit meteorolojik koşulların yaşandığı durumu ifade etmektedir. Kararlı hal durumunun doğası nedeniyle nokta, alan ve hacim kaynaklarından meydana gelen emisyonların 50 km mesafesindeki dağılımlarını en iyi şekilde tahmin edebilmektedir (Schroeder, 2004). Gauss duman akımı ise hava kirliliği dağılımını açıklayan matematiksel bir terimdir. Gauss dağılımı esas olarak, kirleticilerin dikey ve yatay dağılımı anlamına gelmektedir (ISCST-3 Tech Guide, 2012).

Bölgenin hava kalitesi modellemesinde kullanılan bir diğer program ise CALPUFF VIEW modelidir. Model kararsız koşullarda zaman ve bölgeye göre farklılık gösteren meteorolojik koşullar içerisinde kirleticilerin taşınımalarını, kimyasal dönüşümlerini ve giderimlerini tahmin etmekte kullanılan Gaussian Puff modellemesidir (Scire ve diğerleri, 2000). CALPUFF modelleme sistemi; CALMET (meteorolojik modelleme), CALPUFF (modelleme), CALPOST (çıktıların analizi) olmak üzere üç alt modelleme sistemini kapsamaktadır (www.weblakes.com, 2010).



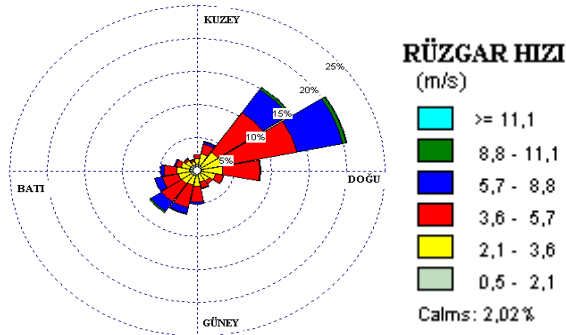
## 2.2. Kullanılan Modellerin Giriş Verileri

Her üç modelde kullanılan giriş verileri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Dağılım modellerinde kullanılan giriş verileri

Giriş Verileri	AERMOD	ISCST-3	CALPUFF
Arazi kullanımı	%40 kırsal, %60 kentsel	%40 kırsal, %60 kentsel	CALPUFF ile hesaplandı
Alıcı noktaları	1250 Üiform kartezyen	1250 Üiform kartezyen	1250 Üiform kartezyen
Yüzey pürüzlülüğü	0,62	0,62	CALPUFF ile hesaplandı
Albedo	0,2145	0,2145	CALPUFF ile hesaplandı
Bowen oranı	1,89	1,89	CALPUFF ile hesaplandı
Dağılım katsayısı	Kentsel	Kentsel	CALPUFF ile hesaplandı
Arazi sabiti	Basit+karmaşık	Basit+karmaşık	CALPUFF ile hesaplandı
Zaman aralığı	Günlük ve yıllık	Günlük ve yıllık	Günlük ve yıllık

Meteorolojik veri olarak ise, AERMOD ve ISCST-3 modelleri saatlik bazda yıllık veri kullanmaktadır (www.epa.gov). Modellerde “Lakes Environmental Software” tarafından kaydedilmiş 2005-2009 yılı saatlik yüzeysel meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu veriler saatlik sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü ve basınç ile günlük bulut yükseklikleri ve yağış ölçümlerini içermektedir. AERMOD ve CALPUFF modelinde ISCST-3’den farklı olarak üst hava meteorolojik verileri kullanılmıştır. AERMOD VIEW 6.5.0 sürümünde bulunan WRLPLOT ile hazırlanan, çalışma alanına ait 2005-2009 yılı verileri için rüzgar gülü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait 2005-2009 yılı verileri için rüzgar gülü

Noktasal kaynak kapsamında kullanılan veriler baca sayısı (adet), baca yüksekliği (m), baca gazı hızı (m/s) ve sıcaklığı (Kelvin), baca iç çapı (m) ve kirletici konsantrasyonu (g/s) şeklindedir. Veriler her üç modelleme programında ortak veri olarak kullanılmıştır.

## 3. TARTIŞMA

Körfez İlçesi’nde bulunan noktasal kaynaklardan yayılan CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları her üç program yardımıyla modellenmiş ve kısa vadeli değerlendirme için saatlik, genel bir değerlendirme yapılabilmesi için de yıllık dağılım haritaları oluşturulmuştur.



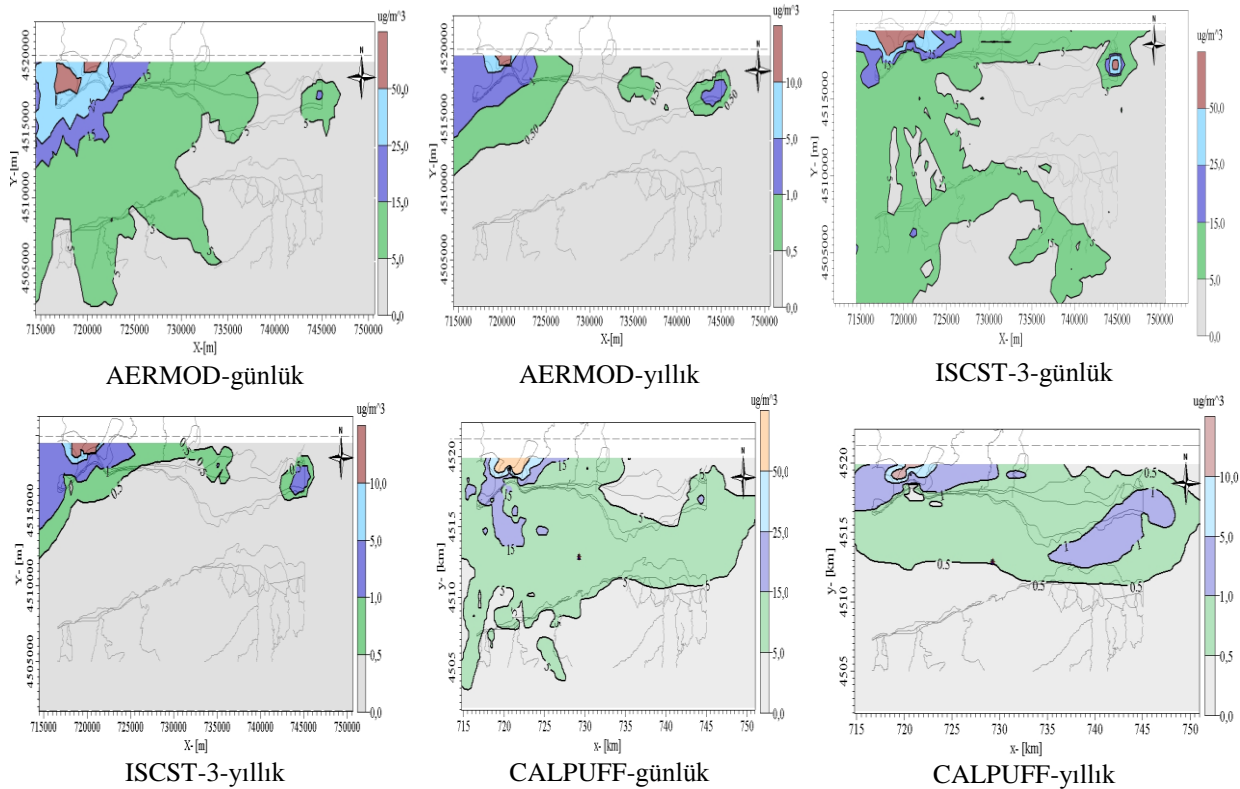
### 3.1. CO Dağılımları

CO emisyonları için, Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde bulunan 20 adet sanayi tesisi değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de, günlük ve yıllık dağılım haritaları ise Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Nokta kaynaklardan oluşan en yüksek CO konsantrasyonu ve alıcı noktaları

Program	Konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alıcı Noktası UTM Koordinatları	Alıcı Noktası Coğrafi Koordinatları
<b>Günlük</b>			
AERMOD	171,34	x- 720340,63 y- 4519476,04	40° 47' 48,26" N 29° 36' 42,46" E
ISCST-3	335,24	x- 720340,63 y- 4519476,04	40° 47' 48,26" N 29° 36' 42,46" E
CALPUFF	140,88	x- 720711,00 y- 4519846,00	40° 47' 59,89" N 29° 36' 58,77" E
<b>Yıllık</b>			
AERMOD	49,59	x- 720340,63 y- 4519476,03	40° 47' 48,26" N 29° 36' 42,46" E
ISCST-3	70,02	x- 720340,63 y- 4519476,00	40° 47' 48,26" N 29° 36' 42,46" E
CALPUFF	17,21	x- 719231,00 y- 4519106,00	40° 47' 37,34" N 29° 35' 54,69" E

Tablo 2'de görüldüğü gibi, üç programın günlük ve yıllık konsantrasyonları arasında farklılık olsa da, alıcı noktalarının birbirine çok yakın noktalar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Noktasal CO emisyonlarının günlük ve yıllık dağılımları

Günlük ve yıllık dağılım haritaları incelendiğinde (Şekil 3), her üç programda da konsantrasyonun Hereke ile Tavşancıl Beldesi arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bölgede yüksek CO emisyonuna sahip üç adet tesisin bulunmasının bu konsantrasyonları etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca her üç programda da Derince İlçesi sınırları içerisinde yer alan bir yoğunlaşma saptanmaktadır. Bu yoğunlaşmanın, meteorolojik veriler incelendiğinde rüzgarın



kuzeydoğu yönünde esmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yıllık dağılım haritaları incelendiğinde dağılımın CALPUFF VIEW haritasında daha fazla yayıldığı görülmektedir. Bunun da, CALPUFF VIEW'in uzak mesafelere taşınım hesaplarında daha verimli olması ve AERMOD ve ISCST-3'de konsantrasyonlar düşük olduğunda yayılım mesafesinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

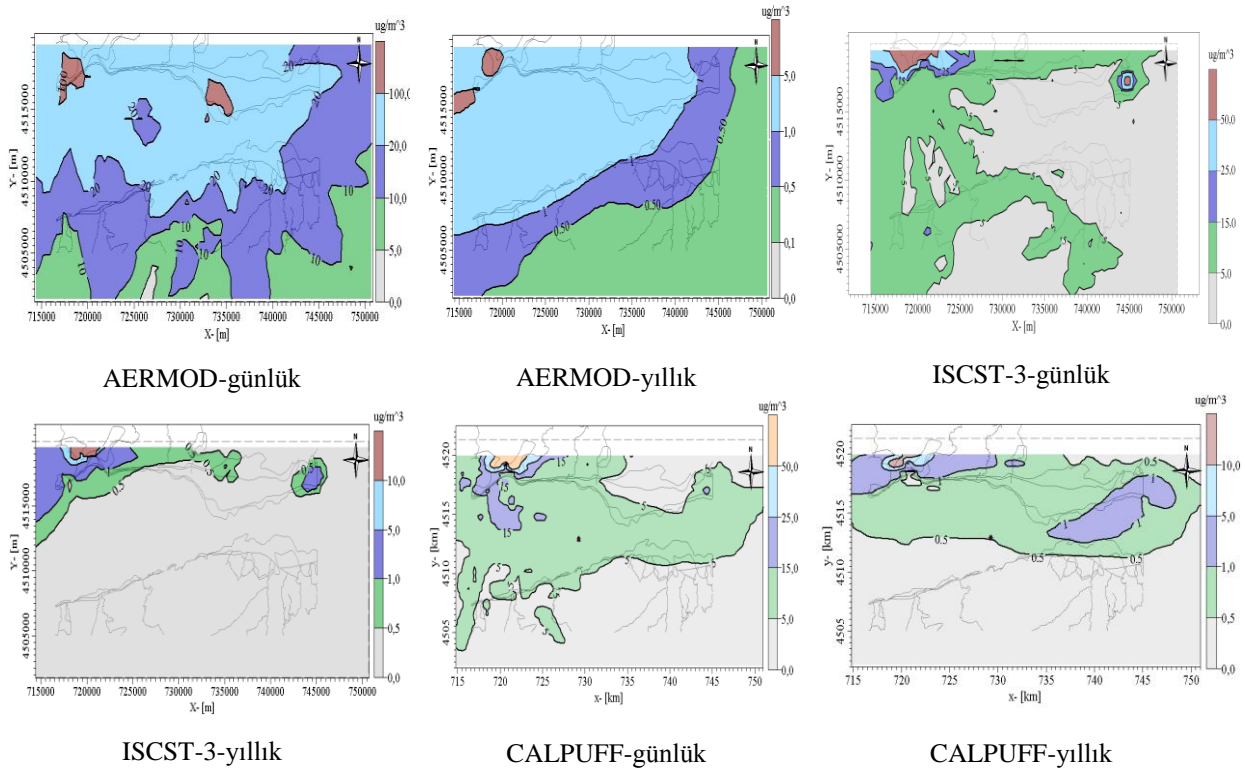
### 3.2. NO<sub>x</sub> Dağılımları

NO<sub>x</sub> emisyonları için Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde bulunan 15 adet sanayi tesisi değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3'de, günlük ve yıllık dağılım haritaları ise Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Nokta kaynaklardan oluşan en yüksek NO<sub>x</sub> konsantrasyonu ve alıcı noktaları

Program	Konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	Alıcı Noktası UTM Koordinatları	Alıcı Noktası Coğrafi Koordinatları
<b>Günlük</b>			
AERMOD	187,70	x- 733660,63 y- 4515776,03	40° 45' 35,16"N 29° 46' 5,26"E
ISCST-3	372,05	x- 718120,63 y- 4517996,00	40° 47' 2,44"N 29° 35' 5,96"E
CALPUFF	62,33	x- 721451,00 y- 4519846,00	40° 47' 59,17"N 29° 37' 30,27"E
<b>Yıllık</b>			
AERMOD	7,84	x- 718860,63 y- 451799,03	40° 47' 1,73" N 29° 35' 37,5" E
ISCST-3	26,29	x- 718860,63 y- 4517996,00	40° 47' 1,73" N 29° 35' 37,5" E
CALPUFF	3,89	x- 722191,00 y- 4519846,00	40° 47' 58,45" N 29° 38' 1,81" E

Tablo 3'deki modelleme sonuçları incelendiğinde CO modelleme sonuçlarına benzer olarak (Tablo 2), her üç programdan elde edilen günlük ve yıllık zaman seçeneğindeki sonuçların arasında farklılık olsa da yine alıcı noktalarının birbirlerine çok yakın yerlerde olduğu anlaşılmıştır. Günlük ve yıllık dağılım haritaları incelendiğinde (Şekil 4), en yüksek konsantrasyonun Körfez İlçesi petrokimya tesislerinin bulunduğu kısım ile Hereke ve Tavşancıl bölgelerinin kuzey kısımlarında olduğu görülmektedir. Bölgede yüksek NO<sub>x</sub> emisyonuna sahip tesisin bulunmasının bu konsantrasyonları etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca Derince İlçesi sınırları içerisinde yer alan bir yoğunlaşma da saptanmaktadır. Bu yoğunlaşmanın, meteorolojik veriler incelendiğinde rüzgarın kuzeydoğu yönünde esmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. Noktasal NO<sub>x</sub> emisyonlarının günlük ve yıllık dağılımları

#### 4. SONUÇLAR

Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde bulunan noktasal kaynaklardan atmosfere yayılan CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının dağılımları AERMOD, ISCST-3 ve CALPUFF modelleri ile tahmin edilmiş ve sonuç olarak günlük ve yıllık dağılım haritaları elde edilmiştir. Buna göre;

- Günlük en yüksek konsantrasyon miktarları AERMOD, ISCST-3, CALPUFF sıralamasıyla; CO için 171,34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 335,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 140,88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , yıllık en yüksek konsantrasyon miktarları ise sırasıyla 49,59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 70,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 17,21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır.
- Günlük en yüksek NO<sub>x</sub> konsantrasyon miktarları sırasıyla 187,70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 372,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 62,33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , yıllık en yüksek konsantrasyon miktarları ise sırasıyla 7,84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 26,29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3,89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak elde edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde programların birbirlerinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiş, ancak her iki kirletici için de konsantrasyon büyüklüklerinin ISCST-3, AERMOD, CALPUFF sıralamasıyla olduğu belirlenmiştir. Nedenleri, literatürden edinilen bilgilere dayanarak, aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

##### AERMOD ve ISCST-3;

- ISCST-3 programı yatay ve dikey Gaussian dağılım formülünü kullanmaktadır. Ancak AERMOD hem kararlı haller için yatay ve dikey dağılımlarda Gaussian formülünü kullanmakta, hem de kararsız durumlarda dikey dağılımlarda Gaussian olmayan eşitliği kullanmaktadır. Bu da AERMOD'un daha farklı bir konsantrasyon tahminine neden olmaktadır. Literatürde bu tahminin daha gerçekçi olduğu belirtilmektedir (Dölek, 2007).
- ISCST-3 programı, yapılardan kaynaklanan türbülans etkisini zayıf şekilde karakterize etmekte ayrıca yüzey yapılarından meydana gelen etkileri ve kimyasal dönüşüm hesaplarını yetersiz yapmaktadır. AERMOD programı, sınır katmanı parametrelerini,





konvektif dağılımlarını, duman yükselmesi formülasyonlarını ve karmaşık yüzey yapısını daha iyi hesaplayabilen gelişmiş bir program olarak tanımlanmaktadır (Laffoon ve diğerleri 2011). Programlar arasındaki bu farklılıklar da konsantrasyon hesaplamalarında farklılık nedeni olabilmektedir.

- Kaynak tipi, arazi yapısı ve zaman seçeneği de kirletici konsantrasyonlarının farklı olmasındaki bir diğer faktör olabilmektedir (Botladaguru, 2009, Masuraha, 2006, Schroeder, 2004).
- İletimsel durumlarda, dumanın merkezi karışımın üzerinde olduğu zaman, ISCST-3 yer seviyesindeki konsantrasyonu sıfır olarak kabul etmektedir. Ancak AERMOD üç duman bileşenini göz önünde bulundurmaktadır. Bu durum da hesaplamalarda farklılıklara yol açan bir faktör olabilmektedir.
- AERMOD baca üzerindeki sıcaklık ve rüzgar hızı değişimlerini yüksek meteoroloji istasyonlarından alınan verileri hesaba katarak işlemektedir. Ancak ISCST-3 programı rüzgar hızı ve sıcaklık verilerinin 10 m'de ölçülmüş değerlerini kullanmaktadır (Korsakissok and Mallet, 2009, Schroeder, 2004, Laffoon ve diğerleri 2011). Bu da konsantrasyon farklılık nedeni olabilmektedir.
- Elde edilen kirletici konsantrasyonları, atmosferik kararlılığa da bağlıdır. Yapılan çalışmalar ile, atmosferik koşulların kararlı olduğu durumlarda AERMOD programının performansının ISCST-3 programından daha iyi olduğu belirtilmiştir (Perry ve diğerleri, 2005). Kirletici konsantrasyonları, aynı zamanda güneş radyasyonuna da bağlı olmaktadır (Botladaguru, 2009).

#### CALPUFF;

- CALPUFF programı AERMOD ve ISCST-3 ile karşılaştırıldığında, daha avantajlı bir program olduğu söylenebilir. Avantajlarından biri, CALPUFF'un gözlemsel rüzgar verileri ve hassas ölçekli arazi yapısı ile geliştirilmiş olmasıdır. Bir diğer avantajı ise, Gauss duman modeline karşıt olmasıdır. Bu da hava koşullarının sakın olduğu durumlarda dağılımı hesaplamasına izin vermektedir. Bu da tahmin sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır. ISCST-3, AERMOD ve HYSPLIT gibi birçok alışılmış duman dağılım modelleri, kıyısız alanlarda, yer seviyesi konsantrasyonlarının tahminlerini kesin bir hassasiyetle yapamamaktadır. Diğer taraftan CALPUFF modelleme sistemi, tüm bu kararlı hal Gauss modelleme sistemlerine göre daha fazla avantajlara ve modelleme tekniklerine sahiptir. Bunun yanında kara ve deniz arasındaki etkileşimler de tahmin sonuçları üzerinde önemli etkilere sahip olabilmektedir. Böyle bir hesap için CALPUFF programı daha uygun olmaktadır. Programın diğer bir avantajı ise, CALPUFF modelinin geniş su kütlelerinin kirlilik dağılımı üzerindeki etkilerini hesaplayabilmesidir (www.portmetrovanancouver.com, 2012, Elbir, 2003, Abdul-Wahab ve diğerleri, 2011).
- Bütün bu avantajları yanında programın sahip olduğu dezavantajı, CALPUFF dağılım modelinin daha fazla veri girişi ve bilgisayar hesaplama zamanına ihtiyaç duymasındır (www.portmetrovanancouver.com, 2012).
- Çalışmada, CALPUFF VIEW programında kullanılan arazi şekli, yükseltileri ve arazi kullanım biçimi WEBLAKES internet sitesinden, modellenen alanın koordinatları verilerek indirilmiştir. Verilerin gerçek olmasından ötürü de farklılık olabileceği düşünülmektedir. Diğer iki programda ise bu veriler alıcı noktası yükseltileri olarak elle girilmiştir. Bu iki programda arazi yükseklikleri için sadece alıcı noktası yükseklikleri kullanılmaktadır (Demirarslan, 2012).



## KAYNAKLAR

Abdul-Wahab S., Sappurd A., Al-Damkhi A., Application of California Puff (CALPUFF) model: a case study for Oman, *Clean Techn Environ Policy*, 2011.

Acımiş N. M., Karbonmonoksit (CO) etkilenimi ve toplum sağlığı, <http://cevresagligi.org/cevre-sagligi/kutuphane>, (Ziyaret Tarihi: 15.06.2011).

Botlaguduru V. S. V., Comparison of AERMOD and ISCST3 Models for Particulate Emissions from Ground Level Sources, Master of Science, *Texas A&M University*, Texas USA, 2009.

Çetin Ş., Kocaeli İli'nde NO<sub>x</sub> Emisyon Dağılımlarının Modellenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 2006.

Demirarslan, K.O., Kocaeli İli Körfez İlçesi'nde Hava Kirletici Kaynaklarının ve Hava Kalitesi Seviyesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 2012.

Dölek E., Comparison of ISCST3 and AERMOD Air Dispersion Models: Case Study of Cayirhan Hermal Power Plant, Yüksek Lisans Tezi, *ODTÜ*, Ankara, 2007.

Elbir T., Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey, *Atmospheric Environment*, 2003.

ISCST-3 Tech Guide, <http://www.weblakes.com>, (Ziyaret Tarihi: 23.02.2012).

Korsakissok I. and Mallet V., Comparative Study of Gaussian Dispersion Formulae Within The Polyphemus Platform: Evaluation with Prairie Grass and Kincaid Experiments, *American Meteorological Society*, 2009.

Laffoon C., Rinaudo J., Soule R., Bowie T., Meyers C., Madura R. L., Pakunpanya S. P., Developing State-Wide Modeling Guidance for the Use of AERMOD – A Workgroup's Experience, <http://files.abstractsonline.com>, (Ziyaret Tarihi: 07.04.2011).

Masuraha A., Evaluation of the AERMOD Model and Examination of Required Length of Meteorological Data for Computing Concentrations in Urban Areas, Master of Science in Civil Engineering, *The University of Toledo*, Spain, 2006.

Orloff G. K., Kaplan B., Kowalski P., Hydrogen Cyanide in Ambient Air Near a Gold Heap Leach Field: Measured vs. Modeled Concentrations, *Atmospheric Environment*, 2006, 40, 3022-3029.

Perry S. G., Cimorelli A. J., Paine R. J., Brode R. W., Weil J. C., Venkatram A., Wilson R. B., Lee R. F., Peters W. D., AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part II: Model Performance against 17 Field Study Databases, *Journal Of Applied Meteorology*, 2005.

Scire S. J., Strimaitis D. G., Yamartino R. J., A User's Guide for The Calpuff Dispersion Model, 3th ed., Earth Tech Inc., Concord, 2000.



Schroeder A. J., Comparison of Two Dispersion Models: A Bulk Petroleum Storage Terminal Case Study, *Air & Waste Management Assoc.'s 97th Annual Conference and Exhibition*, Indianapolis, USA, June 22–25, 2004.

<http://www.portmetrovanancouver.com>, (Ziyaret Tarihi: 21.07.2012).

<http://www.epa.gov>, (Ziyaret Tarihi: 09.01.2011).

<http://maps.google.com>, (Ziyaret Tarihi: 06.09.2012).

<http://www.src.com>, (Ziyaret Tarihi: 12.04.2009).

<http://www.weblakes.com/products/calpuff>, (Ziyaret Tarihi: 30.01.2010).

<http://www.tceq.state.tx.us>, (Ziyaret Tarihi: 12.07.2009).

<http://www.ess.co.at>, (Ziyaret Tarihi: 28.04.2008).